Gouvernement du Canada
Government of Canada

Service canadien des forêts
Canadian Forestry Service

Équations pour estimer la teneur en substances nutritives de la portion épigée de six espèces feuillues de l'est du Canada

L. Chatarpaul, D.M. Burgess et I.R. Methven

Rapport d'information PI-X-55F
Institut forestier national de Petawawa

Énergie
ENFOR
de la Forêt

Canada

86-06263/

INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

Le mandat de l'Institut forestier national de Petawawa, comme celui des autres établissements du Service canadien des forêts, est de promouvoir une meilleure gestion et une utilisation plus rationnelle des ressources forestières du Canada, pour le bien économique et social de tous les Canadiens. Les objectifs des activités des programmes menés à l'institut appuient ce mandat à travers la découverte, le développement, la démonstration, l'application et le transfert des innovations. En tant qu'institut national, il doit s'attacher à des problèmes qui débordent le cadre régional ou qui nécessistent des compétences particulières de même qu'un équipement non disponible aux installations régionales du Service canadien des forêts. La plupart du temps, ses recherches sont effectuées en étroite collaboration avec le personnel des centres régionaux ou des services forestiers des provinces. Les projets de recherche et les services techniques de l'institut sont regroupés sous six principales activités:

GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE ET BIOTECHNOLOGIE - Ce programme encadre des projets sur la génétique forestière, la microbiologie, la micropropagation, la génétique moléculaire et la recherche sur les semences. Il comprend également les services à la clientèle et la banque de semences du Centre national de semences forestières. Ce centre existe depuis longtemps et est lié à plusieurs organismes internationaux.

SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER - Ce programme intègre en recherche et développement, des projets sur les incendies de forêt, la télédétection, la météorologie, la modélisation, la croissance et la récolte, et le RIMA. Il permet ainsi l'élaboration et la démonstration de systèmes d'aménagement forestier.

STATISTIQUES NATIONALES SUR LA RESSOURCE FORESTIÈRE - Communément appelé FORSTATS, ce programme assure la coordination de l'acquisition, de la normalisation et de la publication de statistiques nationales sur les forêts du Canada. Il est aussi chargé de répondre aux demandes de renseignements de la clientèle.

SYSTÈMES DE DONNÉES FORESTIÈRES - Ce programme fournit la compétence et les systèmes informatisés nécessaires à la gestion des données acquises dans le cadre de FORSTATS et des projets de recherche à l'IFNP. Il comprend en outre un service de consultation en informatique pour les hauts fonctionnaires du SCF.

COMMUNICATIONS - Ce programme regroupe les activités de la bibliothèque et des projets touchant la sensibilisation du public, l'information, la rédaction-révision et les publications. L'institut reçoit plus de 20 000 visiteurs chaque année. Le Centre d'accueil, des visites autoguidées et un programme éducatif complet sont ouverts à tous. C'est à l'IFNP que l'on trouve l'entrepôt national de toutes les publications scientifiques du SCF.

LA FORÊT EXPÉRIMENTALE - Outre des peuplements naturels où l'on applique divers traitements dans le cadre de projets de recherche en sylviculture, la Forêt de Petawawa, mesurant 98 km^2, comprend de vastes superficies de plantations âgées de plus de 60 ans. Ces plantations expérimentales permettent d'obtenir des données sur la croissance et la récolte à la suite d'expériences de culture. Elles fournissent du matériel génétique dont le lignage est répertorié, et se révèlent de plus en plus utiles pour les études sur la micropropagation et la génétique moléculaire. La forêt permet également de mettre à l'essai des stratégies d'aménagement forestier à court et à long terme.

ÉQUATIONS POUR ESTIMER LA TENEUR EN SUBSTANCES NUTRITIVES DE LA PORTION ÉPIGÉE DE SIX ESPÈCES FEUILLUES DE L'EST DU CANADA

Rapport d'information PI-X-55F

L. Chatarpaul[1], D.M. Burgess[1] et I.R. Methven[2]

[1]Institut forestier national de Petawawa, Service canadien des forêts,
Chalk River, Ontario K0J 1J0

[2]Dept. of Forest Resources, University of New Brunswick,
Fredericton, New Brunswick E3B 6C2

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
1986

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1986
N° de catalogue Fo46-11/55-1985F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-93833-X

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Centre d'information technique et de distribution
Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

Téléphone: (613) 589-2880

This publication is also available in English under the title **Equations for estimating above-ground nutrient content of six eastern Canadian hardwoods.**

Table des matières

v Avant-propos

vi Résumé/Abstract

1 Introduction

1 Région d'étude

2 Méthodes

2 Sur le terrain
2 Au laboratoire
3 Analyses

3 Résultats et discussion

5 Références

7 Remerciements

Tableaux

10 1. Concentration des éléments nutritifs dans les diverses parties des arbres. Les valeurs consistent en la moyenne et en l'erreur-type du pourcentage d'éléments nutritifs par rapport à la masse anhydre

12 2a. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez le peuplier faux-tremble, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

13 2b. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez le bouleau à papier, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

14 2c. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez l'érable à sucre, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

15 2d. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez l'érable rouge, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

16 2e. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez l'ostryer, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

17 2f. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez le chêne rouge, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

18 3. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez le peuplier faux-tremble, l'érable rouge, l'érable à sucre et l'ostryer confondus, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

19 4. Pourcentage de la répartition de chaque élément nutritif dans les diverses parties des arbres

20 | 5. Répercussions comparatives de l'exploitation en arbres entiers et de l'exploitation en troncs entiers sur l'exportation des éléments nutritifs dans un peuplement de feuillus mélangés, selon les prévisions permises par les équations combinées relatives au peuplier faux-tremble, à l'érable rouge, à l'érable à sucre et à l'ostryer

AVANT-PROPOS

ENFOR est l'acronyme qui désigne le programme fédéral de recherche et de développement en matière d'ÉNergie de la FORêt. Il vise à obtenir les connaissances et les compétences techniques propres à accroître fortement, à moyen et à long termes, l'apport de la biomasse forestière à la production énergétique primaire de notre pays. Il fait partie d'une initiative fédérale beaucoup plus importante destinée à promouvoir la mise en valeur et l'utilisation des énergies renouvelables afin de réduire la dépendance envers le pétrole et les autres sources d'énergie non renouvelables.

Dans le cadre d'ENFOR, le Service canadien des forêts (SCF) est chargé de la composante Programme de la production de la biomasse, qui s'occupe d'aspects forestiers, comme l'inventaire, la récolte, la sylviculture et les impacts environnementaux. (L'autre composante, Conversion de la biomasse, qui porte sur la technologie de la transformation de la biomasse en énergie ou en combustibles, est gérée par la Direction des énergies renouvelables du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources.) Bien que la plupart des projets de production de la biomasse aient été conçus par les scientifiques du SCF en fonction des objectifs d'ENFOR, ils sont réalisés à contrat par des consultants et des chercheurs en foresterie. Les contrats sont accordés selon les procédures d'appels d'offres pour travaux scientifiques du ministère des Approvisionnements et Services. Pour plus de renseignements sur le Programme de la production de la biomasse, écrire au

Secrétariat d'ENFOR
Service canadien des forêts
Ministère de l'Environnement
Ottawa (Ontario)
K1A 1G5

ou à un laboratoire de recherche du SCF.

RÉSUMÉ

Les concentrations et biomasses des substances nutritives dans diverses composantes des arbres pour six espèces feuillues de l'est du Canada ont été déterminées et ont servi à estimer les masses des substances nutritives par espèce et par composante. Les arbres d'étude représentaient une gamme de classes de diamètre et de hauteur. Cent cinquante équations de régression linéaire (6 espèces x 5 composantes x 5 substances nutritives) ont été établies à partir des données sur la masse des substances nutritives, le diamètre et la hauteur.

On a constaté que les concentrations des substances nutritives variaient considérablement d'une composante à l'autre. Par exemple, les rameaux et feuilles contenaient 14 fois plus d'azote (1,246 à 0,087 %) et 17 fois plus de phosphore (0,137 à 0,008 %) que le bois de la tige. En général, les rameaux et feuilles avaient le plus fort pourcentage d'azote et de phosphore, le bois de la tige renfermait le plus de potassium et de magnésium, et l'écorce de la tige avait la plus forte teneur en calcium.

Les équations simples, sauf quelques exceptions, avaient une valeur élevée pour r^2 et faible pour l'erreur-type d'estimation (SEE %), indiquant un bon ajustement des données au modèle linéaire simple. Les équations pour toutes les composantes (sauf les rameaux et les feuilles) du peuplier faux-tremble, de l'érable à sucre, de l'érable rouge et de l'ostryer de Virginie n'étaient pas significativement différentes ($P<0,05$) et pouvaient être combinées en une seule équation. Toutefois, celles du chêne rouge et du bouleau à papier étaient significativement différentes. L'application des équations combinées (celles des quatre espèces mentionnées) aux données des peuplements permettent de conclure que l'exploitation par arbres entiers peut augmenter de 56 à 111 % l'extraction des substances nutritives dans l'ordre suivant: $P \approx N > Mg > K = Ca$.

ABSTRACT

Nutrient concentrations and biomass of various components of six eastern Canadian hardwood species, representing a range of diameter and height classes, were determined and used to estimate nutrient masses for each species and for components. One hundred and fifty (6 species x 5 components x 5 nutrients) linear regression equations were developed using nutrient mass, diameter, and height data.

Nutrient concentrations varied widely among components, with twigs/leaves, for example, containing 14 times as much nitrogen (1.246% to 0.087%) and 17 times as much phosphorous (0.137% to 0.008%) as the stem wood. Generally, twigs/leaves accounted for the highest percentage of nitrogen and phosphorous, stem wood had had the most potassium and magnesium, and stem bark contributed the greatest amount of calcium.

The single equations, with few exceptions, had high r^2 and low SEE%, showing good fit of data to the simple linear model. The equations for all components (except twigs/leaves) of trembling aspen, sugar maple, red maple, and ironwood were not significantly different ($P< .05$) and could therefore be combined into a single equation. However, those of red oak and white birch

were significantly different. The application of the four-species combined equations to stand data showed nutrient removals by full-tree harvesting could increase by 56% to 111% with the percentage increase in the order P ≈ N > Mg > K = Ca.

ÉQUATIONS POUR ESTIMER LA TENEUR EN SUBSTANCES NUTRITIVES DE LA PORTION ÉPIGÉE DE SIX ESPÈCES FEUILLUES DE L'EST DU CANADA

INTRODUCTION

L'aménagiste dispose d'un grand nombre de modes de récolte de la biomasse forestière. Ces modes sont composés de diverses combinaisons de méthodes et d'opérations. Les quatre méthodes fondamentales sont l'exploitation en rondins (bois courts), l'exploitation en troncs entiers, l'exploitation en arbres entiers (phytomasse aérienne) et l'exploitation de la phytomasse totale. Dans les deux premières on n'enlève que les parties marchandes des fûts et on laisse sur place les cimes, les branches et le feuillage. Dans les deux dernières, on enlève respectivement toute la phytomasse aérienne ou toute la phytomasse, y compris les racines. Avec la mécanisation accrue des opérations, les deux derniers procédés sont de plus en plus usités. Pour citer Horncastle (1980): <<... l'exploitation en arbres entiers est plus avantageuse que les autres procédés, du point de vue de la récolte, et ... elle gagnera en importance à mesure que les techniques d'abattage et l'utilisation des résidus progresseront>>. Autre avantage économique du procédé, l'économie des coûts de la préparation du sol à cause de l'enlèvement des rémanents.

Cette évolution qui accroît l'efficacité de la récolte et la productivité de la main-d'oeuvre a des conséquences notables sur la fertilité des stations et la productivité biologique, des quantités appréciables de matière organique et d'éléments nutritifs étant exportés (Anonyme, 1979; Carlisle et Methven, 1979; Freedman et al., 1981; Kimmins, 1977; Morrison, 1980).

Le choix du procédé exige donc l'évaluation de ses répercussions sur la fertilité du sol et la productivité des stations. Un élément déterminant de cette évaluation est l'estimation de la phytomasse et des éléments nutritifs exportés. L'objet de la présente étude est d'obtenir des équations qui permettront de prédire la minéralomasse de six essences feuillues de l'est du Canada à partir des concentrations d'éléments nutritifs et de la phytomasse d'un échantillon d'arbres représentant une gamme de classes de diamètres et de hauteurs.

Région d'étude

Elle était située à l'Institut forestier national de Petawawa, à Chalk River (Ontario), à 45°58' de latitude N et à 77°32' de longitude O.

Les peuplements retenus étaient des peuplements de feuillus mélangés, naturels et complets, établis sur du till mince d'ablation recouvrant la roche mère. Toutes les stations étaient bien drainées, mais leur régime variait d'hydrique à xérique (Hills et Pierpoint, 1960).

Les essences présentes étaient les suivantes: peuplier faux-tremble (Populus tremuloides Michx.), bouleau à papier (Betula papyrifera Marsh.), érable rouge (Acer rubrum L.), chêne rouge (Quercus rubra L.), ostryer de Virginie (Ostrya virginiana [Mill.] K. Koch), peuplier à grandes dents (Populus grandidentata Michx.), épinette blanche (Picea glauca [Moench] Voss),

épinette noire (Picea mariana [Mill.] B.S.P.), sapin baumier (Abies balsamea [L.] Mill.), pin blanc (Pinus strobus L.), frêne noir (Fraxinus nigra Marsh.), et hêtre à grandes feuilles (Fagus grandifolia Ehrh.). Seules les six premières ont été échantillonnées.

MÉTHODES

Sur le terrain

Dix-huit placettes de 0,04 ha ont été établies dans les peuplements et on y a recensé tous les arbres vivants dont le diamètre à hauteur de poitrine sur écorce (dhpé) était supérieur à 5,1 cm, selon l'essence, le dhpé et la hauteur totale.

Dans chaque classe de dhpé de 5 cm d'intervalles, on a choisi au moins deux arbres de chaque essence en vue d'un échantillonnage destructif. Chaque arbre a été détaillé en ses parties: rameaux et feuilles, branches vivantes, branches mortes, fût marchand, et cime. Le poids frais a été noté au dixième de kilos près, par tensiomètre à lecture directe, et les sous-échantillons ont été envoyés au laboratoire pour la détermination du poids anhydre. Les détails de l'échantillonnage sur le terrain peuvent être trouvés dans Alemdag (1980, 1981).

Au laboratoire

Les sous-échantillons frais ont été déshydratés à 105 ± 3° C dans une étuve à ventilation mécanique, puis les rapports du poids anhydre au poids frais ont été calculés en vue de la transformation des poids frais. Les échantillons anhydres ont été réduits à une granulométrie de 40 <<mesh>> dans un broyeur Wiley et soumis à l'analyse des éléments nutritifs.

L'azote total est dosé par la méthode Kjeldahl semi-micro, après minéralisation dans un mélange d'acide sulfurique, de sulfate de cuivre et de sulfate de potassium (Bremner, 1965). Un échantillon de 0,5 g est minéralisé dans 10 ml du mélange pendant 2 h à 160° C, puis pendant 2 h à 350° C. Après refroidissement puis dilution à 75 ml, une portion aliquote est entraînée à la vapeur dans l'acide borique, après ajout d'un excès d'hydroxyde de sodium. On dose ensuite l'ammonium du distillat par titrage à l'acide sulfurique 0,05 N, l'indicateur étant un mélange de rouge de méthyle et de vert de bromocrésol.

Pour le dosage du phosphore, du potassium, du calcium et du magnésium, on fait minéraliser des échantillons de 0,5 g pendant la nuit dans 10 ml d'un mélange à 80 % d'acide nitrique et à 20 % d'acide perchlorique. Après traitement préalable, les échantillons sont totalement minéralisés (environ 2 h). Après dilution à 50 ml, on analyse chaque élément comme suit: le calcium et le magnésium par absorption atomique en présence de 1 % de La; les phosphates dans un analyseur automatique Technicon grâce au développement d'une coloration caractéristique en présence de molybdate d'ammonium, d'acide ascorbique et d'acide sulfurique.

Analyses

Les concentrations dosées d'éléments nutritifs (tableau 1) sont multipliées par la biomasse des arbres retenus pour donner la minéralomasse de chaque essence et de chaque partie de l'arbre. Les résultats servent à construire les équations de régression linéaire de la forme suivante:

$$N = a + b \cdot (dhp)^2 \cdot h$$

où N est la minéralomasse en grammes, dhp le diamètre à hauteur de poitrine en centimètres, et h la hauteur en mètres. On a ainsi obtenu 150 équations de régression (6 essences x 5 parties d'arbre x 5 éléments nutritifs).

Pour simplifier l'application des équations, nous avons soumis ces dernières à une analyse de la covariance, qui a porté sur toutes les essences simultanément, puis a été suivie de l'exclusion séquentielle des essences jusqu'à ce que la majorité des équations ne diffèrent plus significativement quant à la pente et quant au seuil, à la probabilité de 0,05. Nous avons ensuite réuni les données pour construire de nouvelles équations combinées de régression.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 1 montre clairement que la concentration des éléments nutritifs varie énormément d'une partie de l'arbre à l'autre. Par exemple, les ramilles et les feuilles contiennent 14 fois plus d'azote et 17 fois plus de phosphore (1,246 % contre 0,087 % et 1,137 % contre 0,008 %, respectivement) que le bois de fût. Malgré la faible biomasse des premiers, l'exploitation des arbres entiers peut néanmoins entraîner une exportation très significative de ces éléments. Les fortes concentrations de N, P, K et Mg dans les tiges de l'ostryer portent à croire à l'accumulation de ces éléments dans le bois de fût de cette essence.

Dans les tableaux 2a à 2f, nous présentons les éléments des équations se rapportant à chaque élément nutritif et à chaque partie d'un arbre pris individuellement de chaque essence. Sauf de rares exceptions, le coefficient de détermination est généralement élevé, et l'estimation de l'erreur relative faible, ce qui montre que les données sont bien ajustées au modèle linéaire découlant de l'échantillonnage. Les exceptions ont été observées dans les ramilles et feuilles du peuplier faux-tremble et du bouleau à papier. L'exclusion du chêne rouge puis du bouleau à papier, durant l'analyse de covariance, a le plus contribué à accroître l'homogénéité des équations combinées. Les équations relatives au peuplier faux-tremble, à l'érable à sucre, à l'érable rouge et à l'ostryer, pour ce qui est de tous les éléments nutritifs et de toutes les parties sauf les ramilles et feuilles, ne différaient pas significativement au seuil de probabilité de 0,05. Nous avons réuni les données relatives à ces essences et construit les équations de régression combinées (tableau 3). Le chêne rouge et le bouleau à papier se distinguant significativement des autres essences, nous n'avons pas pu les englober dans la régression. Les meilleures combinaisons, sur le plan des ramilles et feuilles, étaient le bouleau à papier, l'érable à sucre et l'érable rouge d'une part, le peuplier faux-tremble et l'ostryer ainsi que le chêne rouge et l'ostryer d'autre part. Cependant, les gains obtenus dans les

coefficients de détermination et les estimations de l'erreur relative n'ont pas été considérés comme suffisants pour justifier un ensemble d'équations distinct des équations relatives à une seule et à quatre essences.

Le fait que toutes les équations des éléments nutritifs des ramilles et feuilles diffèrent significativement dans les combinaisons de quatre essences, contrairement aux équations des éléments nutritifs des autres parties des arbres, montre que la teneur en éléments nutritifs dans les ramilles et feuilles est beaucoup plus variable ou propre à chaque essence. Les ramilles et feuilles étant le résultat de la croissance et de l'accroissement dans l'année, elles traduisent la situation propre à celle-ci. Quant aux autres parties de l'arbre, elles constitueraient une moyenne de l'accumulation pluri-annuelle qui masque les variations dues aux modifications de la position de chaque arbre dans la structure tridimensionnelle des peuplements.

Les différences stationnelles, les différences de port ou les deux pourraient expliquer pourquoi les équations relatives au chêne rouge et, dans une moindre mesure, au bouleau à papier diffèrent tant de celles qui se rapportent aux quatre autres essences. Les arbres qui ont servi à l'analyse ont été sélectionnés dans deux sous-types de peuplement: à chêne rouge et à bouleau à papier; à peuplier faux-tremble, aux érables rouge et à sucre, et à bouleau à papier. Dans le premier, le chêne rouge et le bouleau à papier occupent respectivement 45,1 et 33,8 % de la surface terrière, tandis que dans le second, le peuplier faux-tremble, les érables rouge et à sucre ainsi que le bouleau à papier occupent respectivement 54,7, 18,2 et 13,9 % de la surface terrière. Le premier sous-type se confine généralement dans les stations sèches, le second dans les stations humides. Les processus intervenant dans l'absorption et l'assimilation des ions nutritifs sont très complexes et comprennent fondamentalement des phénomènes physiques tels que la diffusion et le mouvement de masse et des phénomènes biologiques actifs comportant la dépense d'énergie métabolique (Kramer, 1969). La relation avec l'humidité du sol n'est donc pas univoque, mais on admet généralement que les contraintes hydriques sont associées à une assimilation et à une absorption réduites des ions nutritifs. Cependant, la concentration moyenne des éléments nutritifs (tableau 1) ne diffère pas significativement dans le cas du chêne rouge, de sorte que les écarts statistiques sont uniquement reliés aux prévisions de la minéralomasse fondées sur la grosseur des arbres.

Le port de l'essence détermine aussi des différences entre les équations de prévision. Par exemple, à maturité, la croissance du chêne, contrairement à celle du tremble, cesse bientôt d'obéir à la dominance apicale; la cime s'élargit, les branches deviennent fortes. La raison pourquoi le bouleau à papier garde un couvert léger pourrait être reliée à l'âge.

Afin de déterminer l'importance relative de chaque partie de l'arbre, en ce qui concerne la teneur en éléments nutritifs, nous avons calculé le pourcentage de la contribution moyenne de chacune de ces parties à chaque élément nutritif pour l'ensemble des arbres de chaque espèce. Comme il n'y avait aucune corrélation forte avec la grosseur de l'arbre, nous avons établi la moyenne des valeurs (tableau 4). Comme on peut s'y attendre à partir des concentrations des éléments nutritifs (tableau 1), les écarts entre les parties des arbres sont beaucoup moins grands que ceux qui concernent la biomasse. Chez toutes les espèces, à l'exception du peuplier faux-tremble et de l'ostryer dont les ramilles et les feuilles contenaient 38 et 40 % de tout

l'azote, respectivement, cet élément tend à se répartir également dans les quatre parties de l'arbre. Il en va de même du phosphore pour lequel les exceptions sont l'érable à sucre et l'ostryer, chez qui on en retrouve 44 et 37 %, respectivement, dans les ramilles et les feuilles, ainsi que le chêne rouge, chez qui on en retrouve 46 % dans les branches vivantes. A l'exception de l'érable rouge, l'écorce du fût possède le plus haut pourcentage (≈47 %) de calcium et, à l'exception du chêne rouge, le pourcentage maximal de magnésium se trouve dans le bois de fût. Par conséquent, on peut devoir prendre en considération les écarts intra- et interspécifiques.

Afin de connaître l'exportation des éléments nutritifs à l'hectare, la prise de décision, en ce qui concerne les répercussions du système de récolte sur la station, doit être confrontée à des tableaux d'inventaire. Par exemple, pour comparer les effets de l'exploitation en troncs entiers et de l'exploitation en arbres entiers, nous avons appliqué les équations se rapportant à quatre essences aux données stationnelles du sous-type à peuplier faux-tremble, à érables et à bouleau à papier. Comme le montre le tableau 5, l'exportation des éléments nutritifs due à l'exploitation en arbres entiers augmente de 56 à 111 % par rapport à l'exploitation en troncs entiers. Ces chiffres correspondent bien à ceux qu'on trouve dans les publications (p. ex., Boyle et Ek, 1972; Alban et al., 1978; Freedman et al., 1981; Hornbeck et Kropelin, 1979; Kimmins, 1977; Kimmins et Krumlik, 1976; Mälkönen, 1976; Morrison et Foster, 1979; Wells et Jorgensen, 1979; White, 1974), même si ces publications concernent en grande partie des conifères, l'exportation se faisant dans l'ordre décroissant suivant: Ca > K ≈ N > Mg > P, mais l'effet de l'accroissement du pourcentage, du fait de l'exploitation en arbres entiers, se manifestant avec l'ordre suivant: P ≈ N > Mg > K ≈ Ca.

Comme un certain nombre d'auteurs l'ont signalé (Carlisle et Methven, 1979; Kimmins, 1979; Morrison et Foster, 1979; Wells et Jorgensen, 1979), il est extrêmement difficile d'interpréter l'effet des diverses exportations sur la productivité stationnelle. Depuis les travaux de pionnier d'Ebermayer (1876, cité par Stone, 1979), en Allemagne, et l'impulsion ultérieure donnée par Rennie (1955), l'intérêt à l'égard du cycle des éléments nutritifs s'est considérablement accru et, dernièrement, il a englobé les répercussions des systèmes sylvicoles sur le bilan des éléments nutritifs et la productivité des stations. Cet intérêt s'est traduit par l'accumulation d'une masse de données sur l'exportation des éléments nutritifs et sur les prétendues réserves disponibles d'éléments nutritifs dans les diverses parties du système. Cependant, notre compréhension des vitesses des processus et nos connaissances utiles des réserves du sol sont encore minimes. Grâce à la modélisation du bilan des éléments nutritifs (p. ex. Kimmins et Scoular, 1979), ces connaissances se sont fortement étoffées, mais le besoin subsiste de méthodes originales, de notions et d'une théorie grâce auxquelles on pourrait organiser et structurer les renseignements très disparates dont nous disposons.

RÉFÉRENCES

Alban, D.H.; Perala, D.A.; Schlaegel, B.E. 1978. Biomass and nutrient distributions in aspen, pine and spruce stands on the same soil type in Minnesota. Can. J. Forest Res. 8: 290-299.

Alemdag, I.S. 1980. Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships. Can. For. Serv., Petawawa Natl. For. Inst., Inf. Rep. PI-X-4.

Alemdag, I.S. 1981. Aboveground-mass equations for six hardwood species from natural stands of the research forest at Petawawa. Can. For. Serv., Petawawa Natl. For. Inst., Inf. Rep. PI-X-6.

Anonymous. 1979. Impact of intensive harvesting on forest nutrient cycling. Symposium Proceedings. State Univ. of New York, College of Environ. Science and For., School of For. Syracuse, N.Y.

Boyle, J.R.; Ek, A.R. 1972. An evaluation of some effects of bole and branch pulpwood harvesting on site macronutrients. Can. J. Forest Res. 2: 407-412.

Carlisle, A.; Methven, I.R. 1979. The environmental consequences of intensive forestry and the removal of whole trees. Pages 108-120 in Proc. Biol. and Sociol. Bases for a Rational Use of Forest Resources for Energy and Organics. USDA Forest Serv., Southeastern For. Exp. Sta., Ashville, N.C.

Freedman, B.; Morash, R.; Hanson, A.J. 1981. Biomass and nutrient removals of conventional and whole-tree clear-cutting of a red spruce-balsam fir stand in central Nova Scotia. Can. J. Forest Res. 11: 249-257.

Hills, G.A.; Pierpoint, G. 1960. Forest site evaluation in Ontario. Ont. Dep. Lands and Forests, Res. Rep. No. 42.

Hornbeck, J.; Kropelin, W. 1979. Nutrient removal and leaching losses from a whole-tree harvest of northern hardwoods. Page 397 in Proc. Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling. State Univ. of New York, College of Environ. Science and For., School of For., Syracuse, N.Y.

Horncastle, D.C. 1980. Full-tree logging: advantages. Pulp & Paper Canada. 81(10): 56-60.

Kimmins, J.P. 1977. Evaluation of the consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole-tree harvesting. Forest Ecol. and Management. 1: 169-183.

Kimmins, J.P.; Krumlik, C.J. 1976. On the question of nutrient losses accompanying whole-tree harvesting. Pages 41-53 in IUFRO-Oslo, Biomass Studies. Univ. of Maine Press, Orono, Me.

Kramer, P.J. 1969. Plant and soil water relationships: a modern synthesis. McGraw-Hill.

Mälkönen, E. 1976. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility. Silva Fenn. 10(3): 147-157.

Morrison, I.K. 1980. Full-tree harvesting: disadvantages. Pulp & Paper Canada. 81(10): 49-55.

Morrison, I.K., Foster, N.W. 1979. Biomass and element removal by complete-tree harvesting of medium rotation stands. Pages 111-129 in Proc. Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling. State Univ. of New York, College of Environ. Science and For., School of For., Syracuse, N.Y.

Rennie, P.J. 1955. The uptake of nutrients by mature forest growth. Plant and Soil 7: 49-95.

Stone, E.L. 1979. Nutrient removals by intensive harvest - some research gaps and opportunities. Pages 366-386 in Proc. Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling. State Univ. of New York, College of Environ. Science and For., School of For., Syracuse, N.Y.

Wells, C.G.; Jorgensen, J.R. 1979. Effect of intensive harvesting on nutrient supply and sustained productivity. Pages 213-230 in Proc. Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling. State Univ. of New York, College of Environ. Science and For., School of For., Syracuse, N.Y.

White, E.W. 1974. Whole-tree harvesting depletes soil nutrients. Can. J. Forest Res. 4: 530-535.

REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier I.S. Alemdag, A.C. Carlisle, et R.F. Ackerman qui nous ont fait part de leurs critiques constructives. Les analyses en laboratoire ont été réalisées par l'Ontario Soil Testing Laboratory de l'Université de Guelph. Ce travail a été financé par le programme ENFOR.

TABLEAUX

Tableau 1. Concentration des éléments nutritifs dans les diverses parties des arbres. Les valeurs consistent en la moyenne et en l'erreur-type du pourcentage d'éléments nutritifs par rapport à la masse anhydre

	Bois de fût	Écorce du fut	Branches vivantes	Ramilles et feuilles
		Azote		
Peuplier faux-tremble	0,063±,004	0,286±,013	0,337±,022	1,401±,062
Bouleau à papier	0,080±,006	0,302±,017	0,241±,017	1,180±,049
Érable à sucre	0,087±,006	0,394±,006	0,187±,011	1,009±,058
Érable rouge	0,083±,007	0,375±,029	0,215±,029	0,998±,080
Ostryer	0,120±,011	0,608±,025	0,256±,014	1,244±,101
Chêne rouge	0,107±,006	0,331±,014	0,301±,026	1,405±,047
Toutes les essences (x)	0,087±,003	0,349±,013	0,271±,011	1,246±,033
		Phosphore		
Peuplier faux-tremble	0,006±,000	0,046±,005	0,054±,005	0,133±,004
Bouleau à papier	0,006±,001	0,024±,002	0,035±,002	0,134±,011
Érable à sucre	0,007±,001	0,030±,001	0,020±,001	0,195±,014
Érable rouge	0,009±,000	0,043±,004	0,030±,004	0,118±,017
Ostryer	0,016±,002	0,035±,002	0,027±,003	0,115±,014
Chêne rouge	0,004±,000	0,018±,002	0,053±,012	0,125±,006
Toutes les essences (x)	0,008±,000	0,032±,002	0,014±,003	0,137±,005
		Potassium		
Peuplier faux-tremble	0,096±,008	0,289±,024	0,318±,018	0,726±,048
Bouleau à papier	0,061±,005	0,136±,010	0,148±,020	0,748±,033
Érable à sucre	0,096±,009	0,430±,019	0,183±,019	0,767±,052
Érable rouge	0,130±,020	0,227±,019	0,185±,028	0,552±,053
Ostryer	0,206±,124	0,230±,014	0,114±,010	0,612±,064
Chêne rouge	0,128±,008	0,165±,016	0,256±,020	0,732±,020
Toutes les essences (x)	0,109±,011	0,240±,015	0,223±,012	0,712±,019
		Calcium		
Peuplier faux-tremble	0,132±,005	1,169±,075	0,871±,084	0,912±,030
Bouleau à papier	0,119±,019	1,188±,158	0,624±,085	0,749±,024
Érable à sucre	0,232±,032	2,478±,156	0,634±,053	0,882±,025
Érable rouge	0,167±,030	0,938±,086	0,433±,061	0,660±,048
Ostryer	0,196±,026	2,310±,261	0,690±,074	1,366±,293
Chêne rouge	0,067±,006	2,334±,105	0,943±,117	1,001±,116
Toutes les essences (x)	0,137±,009	1,700±,094	0,751±,044	0,910±,042

Tableau 1 (suite)

	Bois de fût	Écorce du fût	Branches vivantes	Ramilles et feuilles
		Magnésium		
Peuplier faux-tremble	0,028±,002	0,110±,007	0,132±,009	0,242±,010
Bouleau à papier	0,028±,004	0,052±,004	0,057±,006	0,239±,012
Érable à sucre	0,039±,007	0,064±,006	0,042±,004	0,167±,009
Érable rouge	0,032±,007	0,054±,005	0,044±,009	0,173±,009
Ostryer	0,041±,005	0,080±,007	0,053±,004	0,230±,012
Chêne rouge	0,007±,001	0,044±,006	0,062±,005	0,179±,009
Toutes les essences (x)	0,026±,002	0,068±,004	0,073±,005	0,208±,006

Tableau 2a. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez le peuplier faux-tremble, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

dhp = de 5,2 à 41,8 cm; h = de 6,7 à 26,3 m; n = 16

	Bois de fut	Écorce du fût	Branches vivantes	Ramilles et feuilles	Arbre entier
			Azote		
a	6,2761	3,2388	22,0665	63,5344	95,1273
b	0,0082	0,0096	0,0062	0,0052	0,0292
r^2	0,8883	0,9509	0,8626	0,7459	0,9739
ETE(%)	31,56	20,80	30,22	30,08	12,59
			Phosphore		
a	1,5676	1,5317	5,5913	7,5203	16,1685
b	0,0005	0,0011	0,0008	0,0004	0,0028
r^2	0,7868	0,8243	0,7538	0,5014	0,9070
ETE(%)	40,57	39,63	36,12	40,34	21,67
			Potassium		
a	-8,7738	-1,0422	11,4096	42,0527	43,6469
b	0,0167	0,0093	0,0062	0,0018	0,0340
r^2	0,8558	0,9672	0,8248	0,4663	0,9470
ETE(%)	39,80	17,37	38,41	39,38	20,38
			Calcium		
a	-1,5653	-6,0577	-3,4096	55,8585	44,8101
b	0,0217	0,0480	0,0206	0,0026	0,0929
r^2	0,9769	0,8504	0,9316	0,4213	0,9318
ETE(%)	14,46	91,92	25,62	45,40	24,53
			Magnésium		
a	3,5690	-6,8106	1,4955	12,0142	10,2442
b	0,0042	0,0045	0,0030	0,0008	0,0125
r^2	0,8955	0,8653	0,9222	0,6189	0,9718
ETE(%)	30,25	41,06	26,30	37,16	15,11

Tableau 2b. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez le bouleau à papier, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

dhp = de 7,6 à 32,7 cm; h = de 9,8 à 21,5 m; n = 12

	Bois de fût	Écorce du fût	Branches vivantes	Ramilles et feuilles	Arbre entier
			Azote		
a	4,2349	7,2465	-44,1270	-14,4369	-47,1158
b	0,0126	0,0077	0,0159	0,0149	0,0512
r^2	0,8429	0,9792	0,7272	0,7336	0,9432
ETE(%)	35,69	11,18	84,93	60,00	24,24
			Phosphore		
a	-0,2786	10,6883	-3,9884	-3,1268	-6,7520
b	0,0012	0,0006	0,0018	0,0021	0,0056
r^2	0,9115	0,9460	0,89166	0,6120	0,9042
ETE(%)	27,85	17,84	58,51	86,70	33,63
			Potassium		
a	-1,2700	1,6759	-45,4358	-5,1507	-50,1808
b	0,0096	0,0037	0,0138	0,0089	0,0360
r^2	0,9303	0,9307	0,6106	0,8507	0,8618
ETE(%)	24,10	22,24	124,91	39,32	42,70
			Calcium		
a	9,8535	49,7431	-130,8315	-13,1945	-84,3828
b	0,0158	0,0262	0,0457	0,0104	0,0981
r^2	0,8323	0,8664	0,7131	0,8067	0,8552
ETE(%)	35,77	26,99	89,78	51,11	40,29
			Magnésium		
a	5,8145	1,8064	-10,0987	-2,9251	-6,2073
b	0,0030	0,0012	0,0038	0,0030	0,0110
r^2	0,8827	0,9201	0,7119	0,7125	0,9309
ETE(%)	23,88	21,17	90,02	63,39	25,52

Tableau 2c. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez l'érable à sucre, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

dhp = de 5,2 à 20,9 cm; h = de 7,3 à 18,0 m; n = 9

	Bois de fût	Écorce du fût	Branches vivantes	Ramilles et feuilles	Arbre entier
			Azote		
a	-2,3939	7,6739	2,1499	3,5518	10,9533
b	0,0183	0,0106	0,0066	0,0117	0,0473
r^2	0,9810	0,9468	0,9585	0,8831	0,9885
ETE(%)	13,57	17,97	17,62	31,00	09,37
			Phosphore		
a	0,4308	0,1973	0,2922	0,9562	1,9178
b	0,0012	0,0010	0,0007	0,0022	0,0051
r^2	0,8930	0,9029	0,8700	0,8499	0,9104
ETE(%)	29,03	28,85	31,87	34,40	26,15
			Potassium		
a	2,1810	7,7601	-3,9215	5,5961	11,6091
b	0,0169	0,0119	0,0088	0,0079	0,0454
r^2	0,8845	0,9091	0,8351	0,8717	0,9208
ETE(%)	32,44	24,42	48,51	29,19	25,34
			Calcium		
a	17,5356	37,8593	3,8847	6,4813	65,7578
b	0,0317	0,0698	0,0253	0,0086	0,1355
r^2	0,9213	0,8213	88,1888	0,9338	0,9161
ETE(%)	23,20	37,14	25,10	20,05	24,47
			Magnésium		
a	5,2427	0,9849	-0,2777	1,1070	7,0742
b	0,0039	0,0018	0,0018	0,0016	0,0091
r^2	0,7792	0,8867	0,8447	0,8911	0,8817
ETE(%)	34,64	28,42	42,18	26,74	27,36

Tableau 2d. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez l'érable rouge, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

dhp = de 5,9 à 20,3 cm; h = de 9,9 à 16,6 m; n = 6

	Bois de fût	Écorce du fût	Branches vivantes	Ramilles et feuilles	Arbre entier
			Azote		
a	5,4280	-2,7588	-13,2145	6,5365	-3,9853
b	0,0112	0,0125	0,0190	0,0170	0,0596
r^2	0,8836	0,8640	0,8091	0,9502	0,9951
ETE(%)	31,31	44,07	66,88	20,39	07,32
			Phosphore		
a	0,90437	-0,1220	-1,9132	1,3837	0,3342
b	0,0009	0,0012	0,0027	0,0017	0,0065
r^2	0,9598	0,9946	0,7883	0,4217	0,8104
ETE(%)	14,98	07,81	71,63	91,58	48,37
			Potassium		
a	-6,2427	2,7539	-11,7351	5,0414	-10,2377
b	0,0259	0,0043	0,0167	0,0084	0,0533
r^2	0,9955	0,9511	0,8628	0,9161	0,9881
ETE(%)	07,54	18,68	55,13	25,18	12,02
			Calcium		
a	-5,9624	7,1510	-20,6750	10,1294	-9,4139
b	0,0332	0,0219	0,0350	0,0091	0,0992
r^2	0,9359	0,9748	0,6720	0,6722	0,9448
ETE(%)	28,58	14,60	91,30	50,25	25,54
			Magnésium		
a	-3,4682	-0,4544	-3,4685	1,2701	-6,1496
b	0,0078	0,0017	0,0044	0,0030	0,0170
r^2	0,9503	0,9620	0,6425	0,9051	0,9814
ETE(%)	27,93	22,43	07,21	28,45	16,21

Tableau 2e. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez l'ostryer, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

dhp = de 5,2 à 18,5 cm; h = de 6,3 à 11,9 m; n = 5

	Bois de fût	Écorce du fût	Branches vivantes	Ramilles et feuilles	Arbre entier
			Azote		
a	2,6913	3,7450	0,2867	2,8662	9,5606
b	0,0169	0,0065	0,0104	0,0254	0,0591
r^2	0,9724	0,9438	0,9890	0,9838	0,9935
ETE(%)	17,67	19,93	12,14	13,90	08,48
			Phosphore		
a	0,9645	0,2323	0,1931	0,5167	0,8657
b	0,0015	0,0004	0,0008	0,0022	0,0049
r^2	0,9370	0,9257	0,9985	0,9709	0,9900
ETE(%)	20,51	22,59	03,85	17,25	09,16
			Potassium		
a	5,1251	1,9929	1,2849	0,8832	9,2599
b	0,0098	0,0020	0,0036	0,0131	0,0289
r^2	0,5036	0,6962	0,8161	0,9921	0,5826
ETE(%)	83,63	44,07	44,03	09,97	39,25
			Calcium		
a	10,6245	22,2245	10,1564	-25,2331	17,7724
b	0,0200	0,0176	0,0202	0,0642	0,1220
r^2	0,9497	0,4774	0,6795	0,8646	0,9923
ETE(%)	19,28	62,79	58,41	66,51	09,33
			Magnésium		
a	1,1228	0,2604	-0,1722	-0,6969	0,5186
b	0,0057	0,0011	0,0024	0,0063	0,0155
r^2	0,9863	0,9963	0,9700	0,9350	0,9851
ETE(%)	12,08	06,04	21,90	33,90	14,12

Tableau 2f. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez le chêne rouge, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

dhp = de 5,5 à 38,9 cm; h = de 8,1 à 23,0 m; n = 15

	Bois de fût	Écorce du fût	Branches vivantes	Ramilles et feuilles	Arbre entier
			Azote		
a	33,4554	41,7351	-76,3143	20,0612	18,8919
b	0,0152	0,0078	0,0185	0,0084	0,0499
r^2	0,0227	0,9355	0,8153	0,8183	0,9558
ETE(%)	20,24	15,18	58,05	32,57	17,15
			Phosphore		
a	1,2630	1,8648	-6,1384	1,9992	-1,0549
b	0,0005	0,0005	0,0024	0,0007	0,0041
r^2	0,8773	0,8411	0,8241	0,8299	0,9098
ETE(%)	25,65	27,13	47,50	30,70	26,40
			Potassium		
a	56,1135	11,6658	-65,8078	7,4586	9,3854
b	0,0161	0,0048	0,0161	0,0048	0,0417
r^2	0,9309	0,7041	0,7476	0,7889	0,8953
ETE(%)	17,55	44,64	70,57	37,83	27,59
			Calcium		
a	24,4467	301,4893	-279,6794	-22,2658	23,9479
b	0,0084	0,0566	0,0628	0,0104	0,1382
r^2	0,8183	0,8813	0,8337	0,6702	0,9492
ETE(%)	31,44	21,22	56,58	69,41	18,74
			Magnésium		
a	-4,0035	5,0856	-11,9312	2,5527	-8,2826
b	0,0017	0,0009	0,0031	0,0010	0,0067
r^2	0,6314	0,7615	0,7425	0,8241	0,8427
ETE(%)	77,56	31,91	69,05	31,76	39,29

Tableau 3. Éléments des équations de prévision de la minéralomasse (en grammes) chez le peuplier faux-tremble, l'érable rouge, l'érable à sucre et l'ostryer confondus, fondées sur la relation $dhp^2 \cdot h$

	Bois de fût	Écorce du fût	Branches vivantes	Ramilles et feuilles	Arbre entier
			Azote		
a	15,7071	5,2650	11,4061	35,8025	68,1660
b	0,0080	0,0095	0,0067	0,0063	0,0305
r^2	0,8895	0,9624	0,8771	0,7980	0,9703
ETE(%)	39,30	25,60	42,79	40,85	18,99
			Phosphore		
a	2,0182	0,1752	2,0324	5,3360	9,5629
b	0,0005	0,0012	0,0009	0,0005	0,0031
r^2	0,8128	0,8821	0,8009	0,5340	0,9150
ETE(%)	44,76	49,73	54,05	54,85	30,51
			Potassium		
a	1,8103	1,1689	6,4982	25,1635	34,6369
b	0,0164	0,0092	0,0065	0,0025	0,0346
r^2	0,8918	0,9638	0,8574	0,6056	0,9587
ETE(%)	47,58	26,44	50,21	49,86	25,58
			Calcium		
a	21,6035	15,4365	10,0885	37,1381	84,2518
b	0,0211	0,0475	0,0203	0,0034	0,0922
r^2	0,9683	0,8755	0,9363	0,4201	0,9438
ETE(%)	22,24	50,20	34,02	69,21	30,37
			Magnésium		
a	4,0975	-6,1894	-0,9622	6,6234	3,5558
b	0,0042	0,0044	0,0030	0,0010	0,0127
r^2	0,9205	0,8979	0,9357	0,7060	0,9778
ETE(%)	36,31	56,50	37,79	49,69	20,18

Tableau 4. Pourcentage de la répartition de chaque élément nutritif dans les diverses parties des arbres

	Bois de fût	Écorce du fût	Branches vivantes	Ramilles et feuilles	Arbre entier
			Azote		
Peuplier faux-tremble	19,3	21,0	22,0	37,7	100
Bouleau à papier	29,8	19,7	21,6	28,9	100
Érable à sucre	33,2	26,8	14,5	25,5	100
Érable rouge	22,8	19,7	24,0	33,5	100
Ostryer	28,4	17,8	14,0	39,8	100
Chêne rouge	35,4	22,6	22,1	19,9	100
			Phosphore		
Peuplier faux-tremble	13,4	22,9	31,8	31,9	100
Bouleau à papier	24,5	14,8	25,9	34,8	100
Érable à sucre	23,5	18,3	14,0	44,2	100
Érable rouge	19,0	17,4	29,9	33,7	100
Ostryer	39,2	10,0	13,6	37,2	100
Chêne rouge	15,4	16,8	45,7	22,1	100
			Potassium		
Peuplier faux-tremble	34,4	21,1	19,9	24,6	100
Bouleau à papier	32,7	13,7	25,3	28,3	100
Érable à sucre	35,3	30,2	14,1	20,4	100
Érable rouge	45,8	10,4	23,8	20,0	100
Ostryer	42,6	12,7	13,0	31,8	100
Chêne rouge	49,9	13,8	23,4	12,9	100
			Calcium		
Peuplier faux-tremble	20,9	45,7	19,4	14,0	100
Bouleau à papier	20,0	38,8	31,3	9,9	100
Érable à sucre	24,0	52,6	16,4	7,0	100
Érable rouge	32,4	25,7	28,4	13,5	100
Ostryer	26,0	39,0	25,6	9,4	100
Chêne rouge	7,6	60,2	26,3	5,9	100
			Magnésium		
Peuplier faux-tremble	33,8	21,0	22,6	22,6	100
Bouleau à papier	37,5	14,3	23,0	25,2	100
Érable à sucre	50,8	18,3	13,8	17,1	100
Érable rouge	44,5	10,5	21,1	23,9	100
Ostryer	47,9	9,7	12,5	29,9	100
Chêne rouge	22,4	23,1	33,7	20,8	100

Tableau 5. Répercussions comparatives de l'exploitation en arbres entiers et de l'exploitation en troncs entiers sur l'exportation des éléments nutritifs dans un peuplement de feuillus mélangés, selon les prévisions permises par les équations combinées relatives au peuplier faux-tremble, à l'érable rouge, à l'érable à sucre et à l'ostryer

Élément nutritif	Troncs entiers (kg/ha)	Arbres entiers (kg/ha)	Différence (kg/ha)	Différence par rapport à l'exploitation en troncs entiers (%)
Azote	99	209	110	111
Phosphore	11	23	12	109
Potassium	132	210	78	59
Calcium	363	568	205	56
Magnésium	42	73	31	74